

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03671

研究課題名（和文）力学系：理論と応用の新展開

研究課題名（英文）Dynamical Systems: New Developments in Theory and Application

研究代表者

國府 寛司 (Kokubu, Hiroshi)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：50202057

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,700,000円

研究成果の概要（和文）：新たな研究動向の変化の中で近年注目されている4つの力学系クラス：(LDF) 大自由度のネットワーク力学系，(RSV) ランダム力学系・集合値力学系，(HPS) ハイブリッド力学系・区分的になめらかな力学系，(DTD) 未知の力学系から生成される時系列などのデータ表現，を取り上げて，そのダイナミクスの構造や分岐（パラメータによる変化）を記述する数学理論を整備し，それを諸分野に現れるいくつかの問題に応用してその有用性を確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取り上げた4つの力学系のクラスは，それぞれ単独では国内外の研究者により活発に研究されているが，それを統合的に扱おうとする研究は見られず，本研究はまずその点において学術的な意義があると考えている。実際に，これらの力学系クラスを統合的に研究することで，複数のクラスの間で新しい関係が見出され，一方の視点や方法が他方の研究に活かされるような相互作用が生まれつつあることは，今後の研究の進展に大いに貢献するものと期待している。また，これらの新しい力学系クラスは諸分野での応用現場で生まれたものが多く，本研究の成果はそれらの分野の研究の進展にもつながると期待されるので，その点に重要な社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this project, we picked up the four classes of dynamical systems that attract keen interests in the new movement of research on dynamics in various fields. These classes are: (LDF) Systems with large degree of freedom, (RSV) Random and set-valued dynamical systems, (HPS) Hybrid and piecewise smooth systems, and (DTD) Dynamical time-series and data. For these classes of dynamical systems, we have been developing mathematical theories that describe their structures of dynamics and bifurcations (changes when parameters are varied), and confirming their usefulness by testing them in various problems arising in different fields of science and engineering.

研究分野：力学系理論

キーワード：力学系 分岐 大域的構造 ランダム 時系列

1 . 研究開始当初の背景

時々刻々変化するシステムの振舞いを調べるダイナミクスの視点は、科学技術分野において社会、生命や医療、環境などを考える際に避けて通れない重要性を持つ。力学系理論はダイナミクスの問題を扱うための学術的基礎として、数学理論のみならず、天体力学とそれに基づく宇宙探査技術、気象学・工学・物理学・生物学などの様々な非線型現象に現れるカオスと呼ばれる決定論的システムにおける複雑で予測困難な振舞いの解明と制御、自然界の多様な時空間パターンの発生メカニズムの理解と応用、生命科学や工学・経済学・社会科学に現れる複雑システムの自己組織的秩序形成機構の発見など、幅広い分野の問題解決に寄与し、またそこから新たな問題意識や発想を得て発展を遂げて来た。

その力学系理論分野で、新しい研究の潮流が世界的なスケールで急速に生まれつつあった。それは、計算機やインターネットの進歩と普及に伴う情報通信基盤の急速な拡大と、それに連動した自然科学や工学、生命科学などにおける科学技術の進展に伴ってダイナミクスの新たな研究対象が認識されてきたことが大きい。このような研究動向を背景に、本研究では以下の 4 つのタイプの新しい力学系のクラスに着目した：

(LDF=Large Degrees of Freedom systems) 大自由度のネットワーク力学系・時間遅れを伴う力学系

(RSV=Random and Set-Valued dynamical systems) ランダム力学系・集合値力学系

(HPS=Hybrid and Piecewise Smooth systems) ハイブリッド力学系・区分的になめらかな力学系

(DTD=Dynamical Time-series and Data) 未知の力学系から生成される時系列などのデータ表現

これらの力学系クラスは、様々な科学技術分野で現れる重要な研究対象であるにも拘らず、その数学的理論は未成熟であり、新しい理論の開拓が喫緊の課題であった。

これらの力学系クラスには、数理的定式化ができているものもあるが、明確な数学的定義が不十分なものもある。また相互に密接に関係している課題も多く、あるクラスでの研究の突破口は他のクラスにも有用であるため、統合的な視点から関係付けた研究が効果的であると考えた。

2 . 研究の目的

本研究は、統合的な視点から上記の 4 つの力学系クラスの諸問題を扱うために適切な数理的枠組みや研究手法は何か？という問いを立て、それらの数学理論を整備し、それを諸分野に現れるダイナミクスの問題に応用してその有用性を確かめ、従来の力学系理論の応用の限界を打破することを目的とする。

3 . 研究の方法

本研究では、様々な科学技術分野で現れ、重要な研究対象であるにも拘らずその数学理論は未成熟で、多くの課題が手つかずで残されている 4 つの力学系クラス：

(LDF) 大自由度のネットワーク力学系

(RSV) ランダム力学系・集合値力学系

(HPS) ハイブリッド力学系・区分的になめらかな力学系

(DTD) 未知の力学系から生成される時系列などのデータ表現

について、力学系の分岐理論や位相計算理論などを基にして、これらの力学系クラスの大域的構造とそのパラメータに対する変化(分岐)を調べるための数学理論を整備し、それを諸分野に現れるダイナミクスの問題に応用してその有用性を確かめ、それによって従来の力学系理論の応用の限界を打破することを目指す。

4 . 研究成果

本研究での研究成果は以下のようにまとめられる：

(LDF) 大自由度のネットワーク力学系

代表者の國府は海外共同研究者 K. Mischaikow らと switching system と呼ばれる区分的線型の結合 ODE 系のダイナミクスの大域的構造に関する研究を行った。Switching system は生命科学における遺伝子制御ネットワークを数学的にシンプルな形で広汎に定式化した大自由度力学系であり、そのダイナミクスを理解することで、特異摂動的な議論により一般のネットワーク力学系の理解にも貢献できると考えている。この研究では力学系の大域的構造を位相幾何学と精度保証付数値計算法を用いる力学系の位相計算理論を進展させることが主目的の一つである。この方法により、switching system の平衡点の周りのダイナミクスを捉える結果を得てそれを 2021 年に論文として刊行した。さらにより一般のダイナミクスの大域的構造を包括的に理解するための研究を進め、これまでの成果の集大成となる大部の論文を準備中である。

また、大自由度力学系の重要なクラスである非線型偏微分方程式のダイナミクスについても研究を行った。具体的には、L. Hou らとある種の非線型偏微分方程式の進行波解の存在を、幾何学的特異摂動論により証明して論文を刊行した。Julius Lustro らと共同で、平面上の minimal Couette flow という流体力学系の乱流に至る遷移を数値的に精密に解析し、分岐理論によりそれを数学的に記述する研究も行った。分岐理論に関しては、Yang Li らと共同で、Bodganov-Takens 分岐の分岐解析法に関する新しい結果を得た。これらの分岐理論や幾何学的特異摂動法は大自由度力学系を研究する上で重要であり、本研究でこれらの方法の新たな活用の事例が整備されたといえる。

分担者の荒井は、高次元力学系の構造を位相力学系と複素力学系の双方の視点から解析する研究を進め、それを用いてエノン写像のパラメータ空間の位相的な構造についての新しい結果を得た。関連して、石井豊と共同で位相的条件と正則写像の剛性の組合せにより力学系の詳細なダイナミクスを検証する手法を開発し、その応用としてエノン写像のエルゴード論的性質に関する新しい結果を得た。また応用研究として霊長類の社会的行動に関する研究に参画し、社会ネットワーク解析について貢献した。

(RSV) ランダム力学系・集合値力学系

力学系はその定義から本質的に決定論的であり、初期状態が与えられればその後の時間発展は一意的に確定する。しかしながら現実の問題ではダイナミクスにノイズが加わることで時間発展に不確実性が生まれ、状態変化の予測が困難になることも多い。ランダム力学系はこのようなノイズを含むダイナミクスの諸問題を扱う。

また、そのノイズによる時間発展の不確実性をすべて含めることで、1 点から出発した軌道が集合値を取ることを許す集合値力学系もこれに密接に関係する新しい力学系のクラスである。その一方で、数値計算による誤差評価を含めてダイナミクスの時間発展を追跡する精度保証付数値計算法はランダム力学系とは異なる理由で集合値力学系を定めており、これらの力学系はそれに由来する諸分野の問題設定とも結びつく興味深い関係がある。

代表者の國府は森田英俊らと共同で、ランダム力学系と力学系の位相計算理論を融合させる MGSTD 法を開発し、それを気象データの時系列解析に応用した。

分担者の角は複素力学系を基礎としたランダム複素力学系の研究を様々な観点から行い、数多くの興味深い成果を得た。まず、複素 1 次元の乗法的ノイズによる generic なランダム多項式力学系の分類を行った。複素 2 次元複素エノン写像のランダム力学系に対して generic に平均安定であることを示し、平均安定性から帰結されるランダム力学系特有の現象についての様々な結果を得た。複素 1 次元の非自励多項式力学系についても、そのジュリア集合が一様完全性を持たないものの構成などの結果を得た。

また、ランダム複素力学系と非自励系反復関数系を研究した。ランダム複素力学系では、複素 2 次元の良い性質を持つ多項式写像や多項式自己同型のランダム力学系を研究した。さらに、特定研究員の渡邊と共に、独立同分布とは限らない、マルコフ的ランダム力学系の基礎理論を構築し、その安定性などについて考察し、論文として刊行した。

(HPS) ハイブリッド力学系・区分的になめらかな力学系

ハイブリッド力学系や区分的になめらかな力学系は、常微分方程式などで記述される連続時間の力学系が何らかの規則で瞬間的に切り替えられるようなシステムを指し、機械工学などの分野でひんぱんに現れて研究されているが、切り替えの状況設定などにより具体例が多岐にわたるため、理論的な定式化が困難であり数学的な理論としては未成熟であるといえる。本研究では、機械工学を専門とする青井らの協力を得て、主としてヒトの二足歩行運動のダイナミクスをその典型的なクラスとして取り上げ、様々な観点からダイナミクスや分岐の研究を行って、成果を得た。

具体的には、代表者の國府は、岡本・青井らと共同で、受動歩行と呼ばれる二足歩行運動を記述するハイブリッド力学系について研究し、そのダイナミクスがパラメータの変化とともに分岐する状況を精密に調べ、分岐集合のフラクタル構造についての解析を行った。また、森田・青

井らと共同して、歩行と走行という異なる二足運動の遷移のメカニズムを理解すべく、それを簡単化したハイブリッド力学系のダイナミクスを詳細に解析し、ハイブリッド系に特有の新しい分岐現象を発見した。前者については論文を刊行済みであり、後者については現在、論文を準備中である。

(DTD) 未知の力学系から生成される時系列などのデータ表現

様々な分野に現れる現象のダイナミクスの研究では、対象の力学系が数学的に明示的に定式化されることは少なく、その現象を示す実験装置などから観測される時系列データを基にしてダイナミクスについての理解を得ようとすることが多い。すなわちその現象を支配する力学系の存在は仮定できるが、それを微分方程式などで表現することが困難であるため、数学的な解析ができない状況で、どのようにして現象の背後にある力学系についての理解や制御が可能になるかが重要な問題である。このような力学系の時系列解析は 1980 年代から発展してきており、特に F. Takens らによる時系列データからのアトラクタ再構成法は大きな成功を収めた。

一方でその後の研究から、この方法ではアトラクタ以外の不安定なダイナミクスや分岐を捉えられないという課題が見えてきた。アトラクタ以外の不安定なダイナミクスは力学系の大域的構造をとらえる上では重要な情報であり、また力学系のパラメータ変動によりダイナミクスが変化する分岐現象はアトラクタ再構成の方法では十分に追跡できない。本研究ではこれらの課題の解決のために 2 つの方向で研究を行った。1 つは、力学系の位相計算理論と時系列データ解析を組み合わせることで不安定なダイナミクスの検出に成功したことであり、もう 1 つはリザーブ計算という機械学習手法を援用することで、時系列データから対象とする力学系の式表現を得て、その式表現を用いて分岐を調べることで元のダイナミクスのパラメータ変化を推測する方法を開拓したことである。

1 つ目の位相計算理論と時系列解析の融合については、代表者の國府が B. Fiedler や望月敦史らと共同で行った研究であり、またそのアイディアは上述の森田秀俊との共同研究の MGSTD 法にも反映された。

2 つ目については、代表者の國府が大学院生の原誠人と共同で行っている。具体的には、リザーブ計算によりカオスの力学系が生成した時系列データから、元の力学系を学習する機構について数値的および数学的研究を行い、リザーブ計算が学習対象の力学系の学習データに含まれない相空間構造や分岐の情報までも復元することを数値的に見出し、その数学的機構について論じた論文を刊行した。その後、リザーブ計算によるカオスの力学系の学習に関し、リザーブ計算が学習対象の力学系の定性的構造を再現する数学的機構の研究を行っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Hara Masato, Kokubu Hiroshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Learning Dynamics by Reservoir Computing	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Dynamics and Differential Equations	6. 最初と最後の頁 515 ~ 540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10884-022-10159-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hou Lingling, Kokubu Hiroshi, Marciniak-Czochra Anna, Takagi Izumi	4. 巻 364
2. 論文標題 Existence of traveling wave solutions to reaction-diffusion-ODE systems with hysteresis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 667 ~ 713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2023.04.032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okamoto Kota, Akashi Nozomi, Obayashi Ippei, Nakajima Kohei, Kokubu Hiroshi, Senda Kei, Tsuchiya Kazuo, Aoi Shinya	4. 巻 111
2. 論文標題 Sharp changes in fractal basin of attraction in passive dynamic walking	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nonlinear Dynamics	6. 最初と最後の頁 21941 ~ 21955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11071-023-08913-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okamoto Kota, Obayashi Ippei, Kokubu Hiroshi, Senda Kei, Tsuchiya Kazuo, Aoi Shinya	4. 巻 16
2. 論文標題 Contribution of Phase Resetting to Statistical Persistence in Stride Intervals: A Modeling Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Neural Circuits	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncir.2022.836121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Duncan William, Gedeon Tomas, Kokubu Hiroshi, Mischaikow Konstantin, Oka Hiroe	4. 巻 20
2. 論文標題 Equilibria and their Stability in Networks with Steep Sigmoidal Nonlinearities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Applied Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 2108 ~ 2141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/21M1398331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Toyoda Aru, Maruhashi Tamaki, Malaivijitnond Suchinda, Matsudaira Kazunari, Arai Zin, Matsuda Ikki, Koda Hiroki	4. 巻 -
2. 論文標題 Macaque progressions: passing order during single-file movements reflects the social structure of a wild stump-tailed macaque group	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-023-01055-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sumi Hiroki	4. 巻 384
2. 論文標題 Negativity of Lyapunov Exponents and Convergence of Generic Random Polynomial Dynamical Systems and Random Relaxed Newton's Methods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 1513 ~ 1583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00220-021-04070-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Comerford Mark, Falk Kurt, Stankewitz Rich, Sumi Hiroki	4. 巻 36
2. 論文標題 Uniformly perfect and hereditarily non uniformly perfect analytic and conformal non-autonomous attractor sets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 631 ~ 655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14689367.2021.1975262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sumi Hiroki, Watanabe Takayuki	4. 巻 35
2. 論文標題 Non-i.i.d. random holomorphic dynamical systems and the generic dichotomy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 1857 ~ 1875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6544/ac4a89	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Li Yang, Kokubu Hiroshi, Aihara Kazuyuki	4. 巻 391
2. 論文標題 Explicit transversality conditions and local bifurcation diagrams for Bogdanov-Takens bifurcation on center manifolds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica D: Nonlinear Phenomena	6. 最初と最後の頁 52 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physd.2018.11.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lustro Julius Rhoan T., Kawahara Genta, van Veen Lennaert, Shimizu Masaki, Kokubu Hiroshi	4. 巻 862
2. 論文標題 The onset of transient turbulence in minimal plane Couette flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2018.971	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Morita Hidetoshi, Inatsu Masaru, Kokubu Hiroshi	4. 巻 18
2. 論文標題 Topological Computation Analysis of Meteorological Time-Series Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Applied Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 1200 ~ 1222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/18M1184746	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okamoto Kota, Aoi Shinya, Obayashi Ippei, Kokubu Hiroshi, Senda Kei, Tsuchiya Kazuo	4. 巻 15
2. 論文標題 Fractal mechanism of basin of attraction in passive dynamic walking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioinspiration & Biomimetics	6. 最初と最後の頁 055002 ~ 055002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-3190/ab9283	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sumi Hiroki, Watanabe Takayuki	4. 巻 32
2. 論文標題 Non-i.i.d. random holomorphic dynamical systems and the probability of tending to infinity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 3742 ~ 3771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6544/ab231e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsutsumi Takuro, Ono Yuriko, Arai Zin, Taketsugu Tetsuya	4. 巻 16
2. 論文標題 Visualization of the Dynamics Effect: Projection of on-the-Fly Trajectories to the Subspace Spanned by the Static Reaction Path Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Theory and Computation	6. 最初と最後の頁 4029 ~ 4037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jctc.0c00018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Stankewitz Rich, Sugawa Toshiyuki, Sumi Hiroki	4. 巻 12
2. 論文標題 Hereditarily non uniformly perfect sets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems - S	6. 最初と最後の頁 2391 ~ 2402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcdss.2019150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Comerford Mark, Stankewitz Rich, Sumi Hiroki	4. 巻 40
2. 論文標題 Hereditarily non uniformly perfect non-autonomous Julia sets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems - A	6. 最初と最後の頁 33 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2020002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Inui Kanji, Okada Hikaru, Sumi Hiroki	4. 巻 40
2. 論文標題 The Hausdorff dimension function of the family of conformal iterated function systems of generalized complex continued fractions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems - A	6. 最初と最後の頁 753 ~ 766
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2020060	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inui Kanji, Sumi Hiroki	4. 巻 26
2. 論文標題 Hausdorff measures and packing measures of limit sets of CIFSs of generalized complex continued fractions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Difference Equations and Applications	6. 最初と最後の頁 104 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10236198.2019.1709063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zin Arai, Yutaka Ishii	4. 巻 361
2. 論文標題 On parameter loci of the He'non family	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 343-414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00220-018-3174-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arai Zin, Ishii Yutaka, Takahasi Hiroki	4. 巻 17
2. 論文標題 Boundary of the Horseshoe Locus for the H ² non Family	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Applied Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 2234 ~ 2248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/18M1174684	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsutsumi Takuro, Ono Yuriko, Arai Zin, Taketsugu Tetsuya	4. 巻 14
2. 論文標題 Visualization of the Intrinsic Reaction Coordinate and Global Reaction Route Map by Classical Multidimensional Scaling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Theory and Computation	6. 最初と最後の頁 4263 ~ 4270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jctc.8b00176	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計53件 (うち招待講演 39件 / うち国際学会 34件)

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Some thoughts about reservoir computing for learning dynamics
3. 学会等名 Tateyama Dynamics Workshop 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Reservoir computing for dynamics
3. 学会等名 KiPAS Dynamics Days, Keio University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 國府寛司
2. 発表標題 力学系のリザーバー計算
3. 学会等名 2023年度 武蔵野大学 数理工学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 國府寛司
2. 発表標題 Learning dynamics by reservoir computing
3. 学会等名 微分方程式とデータサイエンス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 The Conley index and the topological dimension of hyperbolic Julia set
3. 学会等名 Academia Sinica Dynamical Systems Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 Moduli of stability on the first bifurcation curve of the Henon map
3. 学会等名 2023 NCTS Workshop on Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 An introduction to set-oriented computations for dynamics and their applications
3. 学会等名 Hokkaido Summer Institute at Research Center of Mathematics for Social Creativity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 On the parameter space* of the Henon map
3. 学会等名 KiPAS Dynamics Days, Keio University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 On the parameter space of the Henon map
3. 学会等名 Atelier franco-japonais de dynamiques reelles et complexes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Random Dynamical Systems of Polynomial Automorphisms on $\mathbb{B}^2_{\mathbb{C}}$
3. 学会等名 The 10th Visegrad Conference on Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Random Dynamical Systems of Polynomial Automorphisms on \mathbb{C}^2
3. 学会等名 RIMS 総合研究セミナー「Mathematics of Random Systems: Summer School 2023」(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Random Dynamical Systems of Polynomial Automorphisms on \mathbb{C}^2
3. 学会等名 RIMS 共同研究「Around the Mandelbrot set (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Two new ideas for dynamical time-series analysis
3. 学会等名 AIHARA MS Symposium (オンライン開催)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 國府寛司
2. 発表標題 力学系に関する最近のいくつかの動向：応用研究の視点から
3. 学会等名 西浦廉政先生古希記念研究会 -21世紀応用数学の現在と未来- (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Learning dynamics by Reservoir Computing: The case of the logistic maps
3. 学会等名 Machine Learning and Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 On the disconnectedness of the Julia set of the Henon map
3. 学会等名 Atelier franco-japonais sur Real and Complex Dynamics of Henon ' s map (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 The Conley index and the topological dimension of hyperbolic Julia sets
3. 学会等名 Ergodic Theory, Dynamical Systems, and Climate Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 Moduli of stability on the first bifurcation curve of the Henon map
3. 学会等名 RIMS Symposium Recent Developments in Dynamical Systems and their Application (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Random Dynamical Systems of Regular Polynomial Maps on \mathbb{C}^2
3. 学会等名 Dynamical systems and systems of equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Random Dynamical Systems of Regular Polynomial Maps on \mathbb{C}^2
3. 学会等名 the 7th International Conference on Random Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Random Dynamical Systems of Regular Polynomial Maps on \mathbb{C}^2
3. 学会等名 Dynamics of (Semi-)Group Actions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Learning dynamics of the logistic maps by Reservoir Computing
3. 学会等名 International Conference: Differential Equations for Data Science 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國府寛司
2. 発表標題 力学系のリザーバー計算
3. 学会等名 東京理科大学 第2回数理・AIセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國府寛司
2. 発表標題 力学系のリザーバー計算：ロジスティック写像の場合
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國府寛司
2. 発表標題 力学系のリザーバー計算：ある数学的枠組み
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 Thermodynamic Formalism: Applications to Geometry, Number Theory, and Stochastics（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 The 2019 Fall Program of Low-Dimensional Dynamics, Shanghai Center for Mathematical Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 数理解析研究所研究集会「ランダム力学系理論とフラクタル幾何学の研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Arai
2. 発表標題 Period doubling bifurcations from complex and algebraic point of view
3. 学会等名 Rutgers University Dynamical System Seminar
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Computer-assisted Approach to Global Dynamics of Multi-parameter Systems
3. 学会等名 KSIAM Spring Conference KAIST, Daejeon, South Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Morse decomposition of the switching system and its smooth perturbations
3. 学会等名 International Conference on Algebraic Topology in Data and Dynamics, Montana State University, Bozeman, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, 台北 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 Workshop on Random Dynamical Systems and Anomalous Dynamics, Imperial College London, ロンドン、イギリス (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 研究集会「エルゴード理論とその周辺」、大阪大学 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 複素力学系研究とその発展、京都大学数理解析研究所（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 2018年度冬の力学系研究集会、日本大学軽井沢研修所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 The Conley index for the real and complex Hénon maps
3. 学会等名 International Conference on Algebraic Topology in Data and Dynamics, Montana State University, Bozeman, USA（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒井迅
2. 発表標題 力学系の大域的な分岐とその計算について
3. 学会等名 岩手数理学セミナー、岩手大学（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒井迅
2. 発表標題 化学反応経路網の幾何学的理解に向けて
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会, 名古屋大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 On the monodromy and period doubling bifurcations of the He'non map
3. 学会等名 Real and Complex Dynamics of He'non's Map, 慶應大学, 2019年3月 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Morse decomposition of dynamics from time-series data,
3. 学会等名 Workshop on Data Analysis and Machine Learning in Dynamical Systems, Faculty of Sciences, University of Tokyo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 Morse decomposition of dynamics from time-series data and its application
3. 学会等名 EASIAM Wuhan University, Wuhan, China June 13-16, 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 Thermodynamic Formalism; Applications to Geometry, Number Theory, and Stochastics (2019年7月8日-12日), Institut Mittag-Leffler, スウェーデン (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 The 2019 Fall Program of Low-Dimensional Dynamics, Shanghai Center for Mathematical Sciences (2019年9月23日-27日), Fudan University, 上海、中国 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Sumi
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 数理解析研究所研究集会「Research on the Theory of Random Dynamical Systems and Fractal Geometry」(2019年8月29日-9月2日)、京都大学 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 第9回岐阜数理科学研究会(2020年9月9日--11日)、飛騨高山まちの博物館研修室、岐阜県高山市 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Classification of generic random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of rational maps
3. 学会等名 研究集会「エルゴード理論とその周辺」(2020年11月20日-23日)、新潟県長岡市まちなかキャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Random holomorphic dynamical systems associated with analytic families of holomorphic maps
3. 学会等名 数理解析研究所研究集会「複素力学系の分岐と安定性の研究」(2020年12月9日--13日)、数理解析研究所(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角大輝
2. 発表標題 Non-uniformly perfect Julia sets of non-autonomous dynamics of unbounded sequences of polynomials
3. 学会等名 2019年度冬の力学系研究集会(2020年1月10日 - 13日)、日本大学軽井沢研修所
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zin Arai
2. 発表標題 Period doubling bifurcations from complex and algebraic points of view
3. 学会等名 Dynamical Systems Seminar, Rutgers University, USA (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒井迅
2. 発表標題 On the gradient structure of chemical reactions
3. 学会等名 力学系 新たな理論と応用に向けて , 数理解析研究所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒井迅
2. 発表標題 On period doubling bifurcations
3. 学会等名 第9回岐阜数理科学研究会, 飛騨高山まちの博物館 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒井迅
2. 発表標題 計算トポロジーと位相的データ解析
3. 学会等名 東京工業大学情報理工学院寺子屋セミナー, 東京工業大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	角 大輝 (Sumi Hiroki) (40313324)	京都大学・人間・環境学研究科・教授 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荒井 迅 (Arai Zin) (80362432)	東京工業大学・情報理工学院・教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計3件

国際研究集会 数理解析研究所研究集会「Research on the Theory of Random Dynamical Systems and Fractal Geometry」	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics	開催年 2023年～2023年
国際研究集会 RIMS 総合研究セミナー「Mathematics of Random Systems: Summer School 2023」	開催年 2023年～2023年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関